

Digitalização de uma planta industrial utilizando o protocolo de comunicação OPC-UA

Marenice M. de Carvalho* Rafael S. Mendonça*
Renan Landau P. de Medeiros* Florindo A.C. Ayres Junior*
Vicente Ferreira Lucena Junior*

* Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, AM,
(e-mail: mendoncarms, marenice, renan, florindoayres,
vicente{@ufam.edu.br}).

Abstract: : Industry 4.0 is driving profound changes in the industry through solutions that enhance production and raise product quality. Technologies like IoT, CPS, *Big Data*, and *Cloud Computing* are reshaping business operations by integrating systems, creating smart factories, and enhancing efficiency. An example is the educational system CP Lab by Festo, utilized as an application and case study for testing communication using the OPC UA protocol to connect cyber-physical modules and devices to the cloud, enabling real-time data analysis to identify current status, potential issues, and make more effective decisions. Such integration highlights digitization and the benefits of OPC UA communication in the Industry 4.0 context.

Resumo: A Indústria 4.0 está promovendo mudanças profundas na indústria por meio de soluções que melhoram a produção e elevam a qualidade dos produtos. Tecnologias como IoT, CPS, *Big Data* e *Cloud Computing* estão redefinindo as operações empresariais ao integrar sistemas, criando fábricas inteligentes e processos mais eficientes. Um exemplo é o sistema educacional CP Lab da Festo que é utilizado como aplicação e estudo de caso para testes de comunicação usando o protocolo OPC UA para conectar módulos e dispositivos ciber-físicos à nuvem, permitindo a análise em tempo real de dados para identificar estado atual, possíveis problemas e tomar decisões mais eficazes. Tal integração destaca a digitalização e os benefícios da comunicação via OPC UA na Indústria 4.0.

Keywords: OPC UA, interoperability, CP Lab, data collection and analysis, node-RED.

Palavras-chaves: OPC UA, interoperabilidade, CP Lab, coleta e análise de dados, node-RED.

1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 está impulsionando mudanças na indústria ao adotar soluções inovadoras para otimizar a produção e elevar a qualidade dos produtos. Tecnologias como IoT, CPS, *Big Data* e *Cloud Computing* estão redefinindo a operação empresarial, integrando sistemas físicos e digitais para criar fábricas inteligentes e processos de produção altamente eficientes. Essa revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0, está remodelando profundamente o cenário industrial, com a implementação de soluções avançadas que aprimoram a produção e a qualidade dos produtos, conforme destacado por (Lopes and Martins, 2021).

Um exemplo ilustrativo da aplicação dessas tecnologias pode ser observado por meio da utilização do sistema CP Lab da Festo em conjunto com a comunicação OPC UA. O CP Lab é um sistema educacional de automação projetado para permitir que estudantes explorem e experimentem tecnologias da Indústria 4.0, como IoT, CPS e *Big Data*. Através do CP Lab, os alunos têm a valiosa oportunidade de construir sistemas de controle ciber-físicos e testar a integração desses sistemas com a nuvem, viabilizando o monitoramento e gerenciamento remoto de processos.

Segundo Torres et al. (2019) a Indústria 4.0 está se tornando realidade por meio da digitalização de processos industriais e ativos, juntamente com sua integração em ecossistemas digitais. Essa transformação está particularmente baseada na evolução de sistemas embarcados em direção aos Sistemas Ciber-Físicos (CPSs), marcando uma mudança da produção centralizada para uma produção mais descentralizada, impulsionada pela Internet Industrial das Coisas (IIoT). É discutida a criação de dispositivos inteligentes, chamados SmartBoxes, utilizando hardware de baixo custo como Raspberry Pi e plataformas industriais que utilizam a arquitetura OPC-UA para coletar dados do chão de fábrica, convertendo-os para o padrão de Acesso a Dados OPC-UA para integração no proposto Sistema de Produção Ciber-Físico (CPPS).

Esta integração tecnológica facilita a coleta e análise em tempo real de volumes significativos de dados, possibilitando a identificação proativa de problemas e o respaldo de decisões mais eficientes e precisas. A infraestrutura em nuvem, por sua vez, proporciona acesso remoto a esses dados, permitindo o monitoramento e controle dos processos de produção a partir de qualquer local no mundo.

Nesse contexto, o presente artigo destaca a digitalização de uma planta industrial, com ênfase na adoção do protocolo

de comunicação OPC-UA. Utilizando esse protocolo como intermediário, os dados provenientes das seis estações do sistema CPLab (servidor) são capturados e direcionados ao node-RED (cliente). No node-RED, os dados são processados, exibidos em um painel e também redirecionados para um banco de dados. Esta abordagem abre caminho para uma melhor compreensão das possibilidades da digitalização industrial e das vantagens da comunicação via OPC-UA no contexto da Indústria 4.0.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Bajic et al. (2021) e Pan and McElhannon (2018) a Indústria 4.0 abrange diversas tecnologias avançadas que estão revolucionando o setor industrial: internet das coisas, Sistema ciber físico, inteligência artificial, computação em nuvem, aprendizado de máquina, entre outros. Essas tecnologias, quando combinadas e implementadas de forma inteligente, têm o potencial de transformar a indústria, criando fábricas mais eficientes, personalizadas e conectadas.

2.1 Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas (IoT) é a interconexão de dispositivos e sistemas capazes de coletar e transmitir dados em tempo real, possibilitando a coleta de grandes volumes de informações para automação e tomada de decisões informadas. Isso permite a otimização de processos e o oferecimento de serviços aprimorados aos clientes, sendo especialmente vantajoso na indústria, onde sensores monitoram máquinas e variáveis ambientais para melhorar o gerenciamento de recursos e equipamentos.

Chi et al. (2022) argumenta que esses dispositivos são equipados com sensores, processadores e comunicações sem fio que os conectam a outros dispositivos e sistemas em redes. Na indústria, por exemplo, sensores instalados em máquinas podem coletar informações sobre o desempenho, condições ambientais e outras variáveis, permitindo que os gerentes de produção tomem decisões mais informadas sobre o gerenciamento de seus recursos e equipamentos.

2.2 Big Data (BD)

Big Data, segundo Atat et al. (2018) e Gaidarski and Kutinchev (2021), o conceito de *Big Data* envolve o processamento de conjuntos extremamente vastos e complexos de informações por meio de tecnologias avançadas de análise.

Com o crescimento da IoT e a expansão das fontes de dados, o *Big Data* torna-se crucial para identificar padrões, prever comportamentos do consumidor e otimizar processos de produção, transformando dados brutos em ideias valiosas para tomadas de decisões empresariais.

Com algoritmos de análise de dados e ferramentas de visualização, as empresas podem transformar grandes volumes de dados brutos em informações valiosas, ideias e recomendações para a tomada de decisões de negócios.

2.3 Sistemas Ciber-Físicos

Os Sistemas Ciber-Físicos representam sistemas integrados que combinam componentes físicos, eletrônicos e de

software para monitorar e controlar processos em tempo real. Babun et al. (2021) apresenta o conceito de CPS como uma evolução dos sistemas de controle industrial tradicionais, que usam sistemas de controle centralizados para monitorar e gerenciar equipamentos.

Os CPS são avançados porque integram redes de sensores, atuadores e sistemas de comunicação sem fio, aumentando a flexibilidade e a eficiência da automação. Aplicados em várias áreas, como tráfego urbano, saúde e produção industrial, os CPS também têm um papel crucial nas fábricas inteligentes, permitindo a interação entre sistemas autônomos e melhorando a eficiência da produção em tempo real.

3. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO OPC-UA

O protocolo de comunicação OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) desempenha um papel fundamental na garantia de uma comunicação segura e confiável entre sistemas de automação industrial. Sua criação, conforme destacado por Nguyen et al. (2022), foi direcionada para atender às demandas da Indústria 4.0, sendo amplamente adotado em diversos setores como manufatura, energia e automação predial.

Esse protocolo oferece uma estrutura altamente flexível e escalonável para a interação entre sistemas, permitindo a intercomunicação eficiente de dispositivos e sistemas diversos. Além disso, enfatiza recursos de segurança robustos que garantem a preservação da integridade e confidencialidade dos dados transmitidos.

Uma das capacidades marcantes do OPC UA é seu suporte à comunicação ponto a ponto, que habilita a interação direta entre dois sistemas, dispensando a necessidade de um servidor intermediário. Essa abordagem viabiliza uma conexão direta entre dispositivos em uma rede, contribuindo para a melhoria do desempenho geral e a redução da latência.

3.1 Funcionamento

De acordo com Pu et al. (2022), o protocolo OPC UA é definido como uma arquitetura cliente-servidor, onde um cliente solicita dados ou serviços de um servidor. Essa relação ocorre entre diferentes sistemas em uma rede de computadores ou dispositivos de automação industrial.

Na dinâmica dessa interação, o cliente envia uma solicitação específica ao servidor, indicando o tipo de dados ou serviços desejados. O servidor processa essa solicitação e envia de volta ao cliente uma resposta contendo os dados ou informações solicitados. A transmissão dos dados ocorre em formato XML ou binário, seguindo a estrutura padronizada de objetos OPC UA. A organização dos dados por meio de objetos permite que a informação seja logicamente disposta em uma hierarquia, o que facilita seu acesso e interpretação.

Segundo Yuan et al. (2021), o protocolo OPC UA é baseado na ideia de uma hierarquia de informações baseada em objetos. Cada objeto é definido por um conjunto específico de propriedades, métodos e eventos. Esses objetos podem ser estruturados em uma hierarquia, onde cada

objeto se apresenta como um nó em uma árvore hierárquica. Essa organização dos objetos simplifica o acesso e a compreensão dos dados por parte dos clientes.

Uma funcionalidade central dessa tecnologia reside na interação entre clientes e servidores. Essa capacidade de comunicação entre dispositivos e sistemas heterogêneos facilita a troca de informações em tempo real entre máquinas, equipamentos e sistemas provenientes de diferentes fornecedores.

Essa aplicação também desempenha um papel crucial na monitoração e controle remotos de processos industriais, permitindo que operadores supervisionem o desempenho das máquinas, monitorem indicadores-chave e efetuem ajustes essenciais, mesmo à distância do local de produção.

A característica de comunicação cliente-servidor viabiliza a contínua coleta de dados em tempo real provenientes de dispositivos. De acordo com Haskamp et al. (2018) esses dados, uma vez analisados, podem revelar padrões, tendências e anomalias, fornecendo *insights* valiosos para tomada de decisões e aprimoramento dos processos produtivos. Cabe ressaltar que, para assegurar a integridade, a tecnologia utiliza medidas de segurança como criptografia e autenticação, prevenindo acessos não autorizados e manipulação indevida dos dados.

4. METODOLOGIA PARA DIGITALIZAÇÃO DA PLANTA

4.1 Estudo de caso

A CP Lab é uma plataforma de aprendizado prático que reúne seis módulos distintos, proporcionando uma oportunidade avançada de treinamento no campo da automação industrial e é mostrado na Fig. 1. O termo “CP”denota “Cyber-Physical”, destacando a integração entre o domínio virtual e o físico. Dentro dessa estrutura, a CP Lab incorpora tecnologias de vanguarda, abrangendo sistemas de controle, sensores, atuadores e redes de comunicação industrial. Esses elementos possibilitam a simulação de ambientes de produção autênticos e experiências práticas.

Com a missão de promover a compreensão e a aplicação de conceitos relacionados à automação, programação de robôs, integração de sistemas e comunicação industrial, essa plataforma oferece um método de aprendizado interativo. Sua concepção de módulos flexíveis e adaptáveis permite a configuração de diversos cenários e desafios, customizados para satisfazer demandas de treinamento específicas. A CP Lab é capaz de oferecer treinamento e simulação em processos industriais, capacitação prática, desenvolvimento de projetos e pesquisa, todos focados no contexto da Indústria 4.0.

A plataforma possui uma variedade de estações de trabalho equipadas com componentes pneumáticos, elétricos, eletrônicos e de controle, que podem ser interconectados para criar sistemas automatizados. Essas estações são integradas com um software de simulação que permite aos usuários programar, controlar e monitorar os sistemas em tempo real.

A plataforma oferece recursos de conectividade com a Internet das Coisas (IoT) e a integração com a tecnologia

OPC UA. Isso permite que os usuários desenvolvam habilidades em comunicação industrial e interoperabilidade entre sistemas. Isso possibilita a troca de dados em tempo real e a integração de sistemas heterogêneos. Os módulos que compõem a plataforma CP Lab é apresentada a seguir:

Módulo de Seleção (*Back Cover/Front Cover*): Este módulo foi concebido para separar a *Front Cover* ou a *Back Cover* do Magazine e transferir a peça para um transportador. Duas variantes deste módulo existem, cada uma distinta em seus programas de operação, enquanto as diferenças mecânicas estão limitadas à etapa de separação. O esquema elétrico e os diagramas de circuito permanecem constantes.

Módulo de Perfuração (*Drilling*): O propósito deste módulo é providenciar quatro furos na parte inferior da caixa. Durante esse processo, verifica-se se a peça está corretamente posicionada sem a tampa. A unidade de perfuração executa dois furos na parte esquerda da parte inferior da caixa. Em seguida, desloca-se para a direita através de um eixo X para perfurar os dois orifícios restantes.

Módulo de Montagem (*Pressing*): Neste módulo, uma *Front Cover* é unida a uma *Back Cover*. Ao adentrar o módulo, as peças de trabalho são identificadas por dois sensores de barreira de luz, interrompendo o transportador. As peças são então pressionadas e encaixadas pela força de um atuador pneumático.

Módulo de Medição (*Measuring*): Esse módulo tem a finalidade de registrar e categorizar as medições características das peças. Dois sensores ópticos realizam as medições, fornecendo sinais analógicos para a avaliação de dois pontos distintos na peça. As medições determinam discrepâncias dimensionais entre as partes de uma peça, confirmam tolerâncias e detetam falhas no posicionamento da peça no *pallet*.

Módulo de Saída (*Out*): O papel do Módulo de Saída é extrair o produto final do processo. O sensor de barreira de luz detecta a presença do transportador, fazendo-o parar. O módulo então remove a peça, boa ou defeituosa, do transportador e a posiciona em uma de duas rampas. A escolha entre a rampa boa ou defeituosa pode ser configurada no MES (Manufacturing Execution System).

Os resultados das medições podem ser indicados por luzes sinalizadoras e exibidos na interface de usuário (IHU), demonstrando as discrepâncias dos valores medidos. As informações das medições são enviadas ao MES, onde são armazenadas e podem ser visualizadas. No máximo, duas peças podem ser acomodadas em cada rampa. O eixo X não retorna à posição central até que a peça tenha sido direcionada para baixo na rampa. O eixo Z possui apenas posições superior e inferior.

4.2 Node-Red

Node-RED representa uma plataforma de programação visual que se fundamenta na conexão de elementos chamados “nós”. Com o objetivo de integrar aplicativos, dispositivos e serviços, essa plataforma se mostra altamente versátil. A sua aplicabilidade se estende desde a automação de tarefas simples até a criação de aplicativos para a Internet das



Figura 1. CP-Lab - The Cyber-Physical Lab

Coisas (IoT) e o desenvolvimento de soluções abrangentes para integração de aplicações complexas.

Sua principal característica é relacionada a construção de fluxos de trabalho, os quais são montados pela interligação de “nós” que representam funcionalidades pré-configuradas. Essa conexão entre “nós” pode ser facilmente ajustada para estabelecer ligações com distintos sistemas. Como parte da avaliação e validação da abordagem proposta, um sistema de painel de controle (dashboard) foi elaborado para a visualização e manipulação dos dados provenientes da planta didática CP Lab.

4.3 Comissionamento

A digitalização da planta demandou uma compreensão profunda do processo e da relevância de suas entradas e saídas. Nesse sentido, um procedimento de comissionamento foi executado para identificar os códigos das variáveis nos CLPs servidores, por meio do software *UaExpert*. Esses códigos, chamados de NodeID, são essenciais para a configuração precisa do cliente Node-RED. Paralelamente, foram coletadas informações referentes ao endereço `opc.tcp` e aos níveis de segurança associados ao protocolo OPC-UA.

Após obter as informações cruciais via *UaExpert*, tornou-se viável a configuração do cliente Node-RED. Para tanto, foram instalados os seguintes *palettes*: `node-red-contrib-opcua`, `node-red-dashboard`, `node-red-node-email`, `node-red-mysql`, `node-red-ui-media`, `node-red-ui-table`, `node-red-ui-led`. Isso possibilitou uma base sólida para o desenvolvimento subsequente das funcionalidades necessárias.

4.4 Comunicação opc-ua: servidor/cliente

Dois nós essenciais do `node-red-contrib-opcua` constituem a base da comunicação entre servidor e cliente: `OpcUa - Item` e `OpcUa - Client`. O primeiro é crucial para determinar a identificação e o tipo de dado associado ao item objeto da comunicação, como um sensor ou atuador. O segundo nó delibera sobre a natureza da ação, isto é, se a leitura ou escrita será solicitada ao servidor. Para tal, requisitos como o endereço e a porta do CLP devem ser conhecidos, assim como as configurações de segurança predefinidas.

Quando se deseja efetuar a leitura do estado de um LED, o nó `OpcUa - Item` requer a entrada de um nó `Inject`, responsável por realizar a leitura de forma contínua. Nesse contexto, o nó `Inject` periodicamente introduz um sinal booleano verdadeiro a cada 0,5 segundos. O nó de saída `OpcUa - Item` é então conectado ao nó `OpcUa - Client`, onde é especificado o endereço do servidor a ser solicitado e a natureza da ação, neste caso, uma leitura.

Quanto à escrita no CLP, isto é, o envio de dados para o servidor, um sinal é encaminhado ao nó `OpcUa - Item`. Dessa maneira, configura-se o endereço do elemento cujo estado será modificado, e então a comunicação é executada pelo nó `OpcUa - Client`, selecionando o CLP alvo e a função de escrita. Para acionar o `OpcUa - Item`, foi concebido um botão no painel de controle (dashboard), que, quando pressionado, envia um sinal ao nó de ativação (*trigger*), assegurando a geração de um único pulso. Assim, o botão virtual comporta-se como um botão pulsador. A Figura 2 ilustra o fluxo relacionado ao sinal de pulso e à interação com o CLP. Nota-se que um único botão dispara o sinal de início para os seis CLPs de forma simultânea.

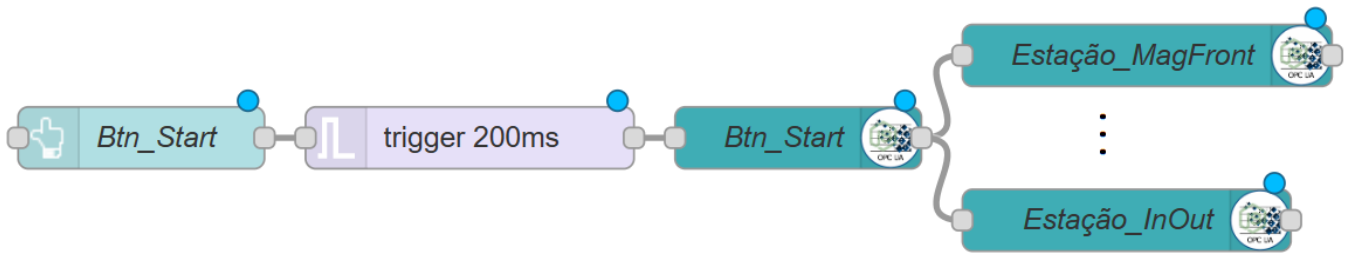


Figura 2. Fluxo de sinal NodeRed

Através destes comandos de comunicação, é possível estabelecer um sistema completo de troca de informações entre o cliente e o servidor. Além do indicador LED de *Start*, também foram configurados LEDs para *Reset*, bem como dois LEDs denominados Q1 e Q2. No que diz respeito ao controle dos módulos, botões de *Start*, *Reset*, *Stop* e *Acknowledge* foram implementados.

Um menu suspenso no painel foi incorporado para permitir a escolha entre o modo padrão e o modo MES. No primeiro modo, cada estação é controlada pelos painéis e botões locais existentes em cada módulo. No segundo modo, o controle ocorre por meio do MES, ou seja, pelo painel do Node-RED, permitindo um gerenciamento simultâneo de todas as estações.

O botão *Start* aciona o nó *Disable dropdown*, que desabilita o menu suspenso responsável por selecionar o modo de operação. Isso significa que a mudança de modo não é possível durante o funcionamento do sistema. O comando associado a esta função é `msg.enabled=false; return msg;`. Por sua vez, o botão *Stop* ativa o nó *Enable dropdown*, que habilita novamente o menu suspenso, possibilitando a escolha do modo de operação antes do início do sistema. A instrução correspondente é `msg.enabled=true; return msg;`.

O nó *Selecionar modo* é uma função que contém o código `msg.payload = global.machinemode; return msg;`, sendo responsável por carregar o estado da variável global *machinemode*.

O nó *dropdown* é responsável pela exibição do menu suspenso no painel. Por fim, os últimos nós são do tipo *OpcUa - Item* e *OpcUa - Client*.

4.5 Comunicação MQTT

Comunicação MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de mensagens leve e eficiente projetado para facilitar a troca de informações entre dispositivos e sistemas em redes de IoT (Internet of Things) ou outros ambientes de comunicação. Ele foi criado para lidar com a natureza distribuída e heterogênea dos dispositivos conectados, proporcionando uma maneira eficaz de enviar e receber mensagens assíncronas entre diferentes partes de um sistema.

O MQTT opera em um modelo de publicação/assinatura, onde os dispositivos podem publicar informações em tópicos específicos e outros dispositivos podem se inscrever nesses tópicos para receber as mensagens pertinentes. Isso permite uma comunicação flexível e descentralizada, onde as mensagens são entregues apenas aos dispositivos que

expressaram interesse por meio de assinaturas nos tópicos relevantes.

O protocolo MQTT é conhecido por sua eficiência e baixo overhead. Ele minimiza a quantidade de dados de cabeçalho nas mensagens, tornando-o adequado para ambientes com largura de banda limitada ou conexões instáveis. Além disso, o MQTT é projetado para ser confiável, com mecanismos de garantia de entrega e qualidade de serviço configuráveis para se adequar às necessidades específicas de uma aplicação.

No módulo de medição, existem três estados distintos: "Check", "Good" e "Bad". O primeiro estado, "Check", refere-se a um estágio de verificação onde a medição da peça está em andamento. Os estados "Good" e "Bad" correspondem aos resultados da avaliação da peça, indicando se ela é aceitável ou defeituosa. Além disso, a planta também gera valores numéricos representando as medições, que correspondem aos dados analógicos coletados.

Esse módulo utiliza o protocolo de comunicação MQTT para transmitir essas informações para um servidor broker, no caso o HiveMQ. A configuração do recebimento das informações é feita por meio do nó *mqtt* no ambiente do Node-Red. Nesse processo, é definido o servidor broker como *broker.hivemq.com* e a porta como 1883. Além disso, é especificado o tópico e o QoS (*Quality of Service*).

O tópico escolhido é o que a planta utiliza para enviar suas informações. Como o *broker* é público, qualquer pessoa que conheça o nome desse tópico pode acessar e coletar os dados transmitidos. Quanto ao QoS, ele foi configurado como tipo 2 para garantir a entrega segura das mensagens.

O fluxo necessário para armazenar essas informações no banco de dados é ilustrado na Figura 3. Nota-se que cada informação passa pelo nó *change*, onde a variável é transformada de *flow.check* (referente ao estado de verificação) para *msg.payload*. Posteriormente, os dados são preparados para serem inseridos no banco de dados FreeDB por meio do nó *mysql*. Isso possibilita o registro consistente e organizado das informações provenientes do módulo de medição.

Dado os três estados possíveis, é relevante armazenar apenas a informação final que indica se a peça foi considerada boa ou ruim. Com essa perspectiva, uma função foi inserida imediatamente após o nó *check*, visando ativar essa função somente quando o estado de verificação estiver ativado: `if (msg.payload == true) return msg;`. O primeiro nó *delay* foi introduzido para coletar somente um dado proveniente desse sinal, enquanto o segundo nó *delay* aguarda

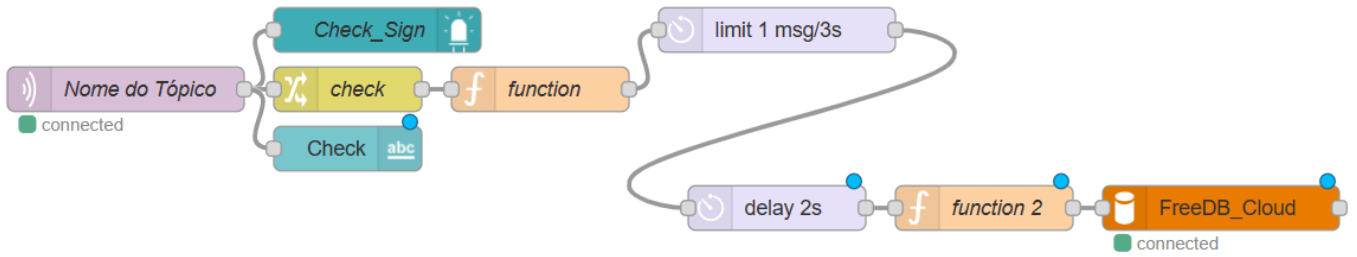


Figura 3. Armazenamento no banco de dados

dois segundos, tempo suficiente para que o estado final da peça seja determinado. A segunda função subsequente foi elaborada da seguinte forma:

```

1
2 var bom = flow.get("good");
3 var ruim = flow.get("bad");
4 var tempo = "CURRENT_TIMESTAMP";
5
6 if (bom == false && ruim == true){
7     msg.topic = "INSERT INTO Table_Name (quality,
8         time_stamp) VALUES ('BAD', "+ tempo +)";
9     return msg;
10 }
11 if (bom == true && ruim == false) {
12     msg.topic = "INSERT INTO Table_Name (quality,
13         time_stamp) VALUES ('GOOD', "+ tempo +
14         "));";
15     return msg;
16 }

```

Listing 1: Função para coleta do dado que será armazenado.

Finalmente, no último nó, foi essencial configurar os detalhes da base de dados gerada no portal FreeDB.Tech. Esses detalhes incluem o endereço do Host (sql.freedb.tech), a porta (3306), além do nome de usuário, senha e nome da base de dados.

Para recuperar as informações armazenadas na base de dados, um fluxo foi concebido, ilustrado na Figura 4. Esse fluxo engloba dois tipos de ações direcionadas ao nó `mysql`. O botão *Load data* desencadeia uma função que emite o comando de seleção dos dados armazenados, enquanto o botão *Delete data* emite o comando para eliminar os dados da base. Tais ações são refletidas no painel por meio de uma tabela gerada pelo nó `table`.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 5 apresenta o painel resultante, evidenciando as informações de leitura e escrita ocorrendo entre os servidores e o cliente por meio do protocolo de comunicação `Opc-UA`. Os LEDs representam os estados dos LEDs físicos de uma das estações, onde o cliente `Node-RED` solicita ao servidor informações sobre os estados desses LEDs. Além disso, por meio dos botões no painel, o cliente tem a capacidade de acionar os botões físicos das estações, ativando todas as estações simultaneamente. Além da funcionalidade de ligar os módulos usando o botão *Start*, o painel também

oferece recursos para resetar, parar e limpar as sinalizações de erro utilizando o botão *Acknowledge*.

As medidas analógicas da altura da peça são apresentadas por meio de duas barras verticais, fornecendo informações cruciais para o processo, visto que classificam a peça como conforme ou não conforme. Enquanto o LED *Check* indica que a peça está sendo verificada, também é possível acompanhar a diferença nos níveis medidos pelas duas barras à esquerda. Ao concluir a análise, o LED *Bad* ou *Good* permanece aceso, refletindo o resultado final do estado da peça.

Adicionalmente, a Figura 6 apresenta o histórico das avaliações armazenadas no banco de dados. Todas as informações previamente avaliadas por meio de dados instantâneos agora podem ser analisadas de forma mais abrangente, contribuindo para o aprimoramento do desempenho e eficiência do processo.

Em suma, os resultados incluem a representação dos estados dos LEDs físicos e o controle dos botões para acionar simultaneamente todas as estações. As medidas analógicas da altura da peça são visualmente indicadas por barras verticais, oferecendo informações cruciais para a classificação da peça como *conforme* ou *não conforme*. O LED *Check* sinaliza a verificação da peça, junto com a exibição das diferenças de níveis nas barras.

De forma concisa, a adoção do protocolo `OPC UA` no CP Lab e a subsequente digitalização da planta permitiram a integração eficaz de sistemas, simplificando a coleta e análise de dados em tempo real. Isso, por sua vez, possibilitou o controle e monitoramento remoto dos processos de produção, resultando em tomadas de decisões mais precisas e eficazes, bem como melhorias na qualidade e eficiência dos processos industriais.

6. CONCLUSÃO

Em síntese, a utilização da comunicação `OPC UA` representa um protocolo robusto e altamente eficaz para promover a interoperabilidade entre diversos sistemas dentro de uma instalação industrial. A integração dessas tecnologias possibilita a coleta e análise em tempo real de uma ampla gama de dados de processo, viabilizando a identificação precoce de problemas e a tomada de decisões ágeis e informadas.

Além disso, a conectividade com ambientes em nuvem proporciona o acesso remoto aos dados, tornando o monitoramento e controle dos processos produtivos acessíveis de qualquer local. Como resultado, ocorre a digitalização

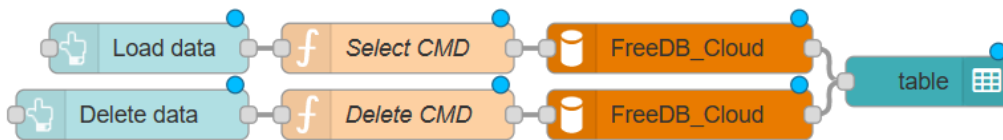


Figura 4. Informações armazenadas no banco de dados



Sinalizações



Led_Start



Led_Q1



Led_Reset



Led_Q2

Controle

START RESET STOP ACK_ALL

Machine Mode ▾

Figura 5. Dashboard CPlab



Histórico de Qualidade

id	quality	time_stamp
29	GOOD	2023-02-02 22:00:53
30	GOOD	2023-02-02 22:00:56
31	BAD	2023-02-02 22:00:59
32	BAD	2023-02-02 22:01:05
33	GOOD	2023-02-02 22:01:11
34	GOOD	2023-02-02 22:01:25
35	GOOD	2023-02-02 22:01:31
36	GOOD	2023-02-02 22:01:34
37	BAD	2023-02-02 22:01:57
38	GOOD	2023-02-02 22:02:06
39	BAD	2023-02-03 13:56:16
40	BAD	2023-02-03 13:56:27
41	GOOD	2023-02-03 13:56:36
42	GOOD	2023-02-03 13:56:39
43	GOOD	2023-02-03 18:06:20
44	GOOD	2023-02-03 18:06:44
45	GOOD	2023-02-03 18:06:48
46	GOOD	2023-02-03 18:06:51
47	GOOD	2023-02-03 18:06:54
48	GOOD	2023-02-03 18:07:00
49	GOOD	2023-02-03 18:07:03
50	GOOD	2023-02-03 18:07:06
51	GOOD	2023-02-03 18:07:09

id	quality	time_stamp
11	GOOD	2023-02-02 22:00:53
12	GOOD	2023-02-02 22:00:56
13	BAD	2023-02-02 22:00:59
14	BAD	2023-02-02 22:01:05
15	GOOD	2023-02-02 22:01:11
16	GOOD	2023-02-02 22:01:25
17	GOOD	2023-02-02 22:01:31
18	GOOD	2023-02-02 22:01:34
19	BAD	2023-02-02 22:01:57
20	GOOD	2023-02-02 22:02:06
21	BAD	2023-02-03 13:56:16
22	BAD	2023-02-03 13:56:27
23	GOOD	2023-02-03 13:56:36
24	GOOD	2023-02-03 13:56:39
25	GOOD	2023-02-03 18:06:20
26	GOOD	2023-02-03 18:06:44
27	GOOD	2023-02-03 18:06:48
28	GOOD	2023-02-03 18:06:51
29	GOOD	2023-02-03 18:06:54
30	GOOD	2023-02-03 18:07:00
31	GOOD	2023-02-03 18:07:03
32	GOOD	2023-02-03 18:07:06
33	GOOD	2023-02-03 18:07:09

LOAD DATA

DELETE DATA

Figura 6. Log do banco de dados

completa de uma planta industrial, com ênfase na implementação do protocolo de comunicação OPC-UA. Nesse contexto, os dados provenientes das estações do CP Lab são capturados e processados pelo cliente Node-RED, que os apresenta em um painel intuitivo e também os direciona para um banco de dados central.

Assim, é evidente que a abordagem adotada neste trabalho não apenas integra tecnologias avançadas, mas também oferece uma visão ampla e detalhada do funcionamento da planta industrial. Ao unir a comunicação OPC UA, a digitalização e a análise de dados em tempo real, o sistema resultante capacita os operadores e gestores industriais a monitorar, controlar e aprimorar continuamente os processos de produção com eficiência e precisão.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi parcialmente financiada por bolsas concedidas pelo Apoio à Pesquisa da Fundação do Estado do Amazonas (FAPEAM) por meio de bolsas de estudo e pela bolsa FAPEAM nº 062.00272/2020.

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pelo Instituto de Pesquisas Eldorado. E pela Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., nos termos do Lei Federal nº 8.387/1991, por meio do convênio 001/2020, firmado com a Universidade Federal do Amazonas e a FAEPI, Brasil.

REFERÊNCIAS

- Atat, R., Liu, L., Wu, J., Li, G., Ye, C., and Yang, Y. (2018). Big data meet cyber-physical systems: A panoramic survey. *IEEE Access*, 6, 73603–73636. doi:10.1109/ACCESS.2018.2878681.
- Babun, L., Aksu, H., and Uluagac, A.S. (2021). Cps device-class identification via behavioral fingerprinting: From theory to practice. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 16, 2413–2428. doi:10.1109/TIFS.2021.3054968.
- Bajic, B., Rikalovic, A., Suzic, N., and Piuri, V. (2021). Industry 4.0 implementation challenges and opportunities: A managerial perspective. *IEEE Systems Journal*, 15(1), 546–559. doi:10.1109/JSYST.2020.3023041.
- Chi, C., Wang, Y., Tong, X., Siddula, M., and Cai, Z. (2022). Game theory in internet of things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(14), 12125–12146. doi:10.1109/JIOT.2021.3133669.
- Gaidarski, I. and Kutinchev, P. (2021). An analysis of the domain of information security systems. In *2021 Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE)*, 1–6. doi:10.1109/BdKCSE53180.2021.9627314.
- Haskamp, H., Orth, F., Wermann, J., and Colombo, A.W. (2018). Implementing an opc ua interface for legacy plc-based automation systems using the azure cloud: An icps-architecture with a retrofitted rfid system. In *2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*, 115–121. doi:10.1109/ICPHYS.2018.8387646.
- Lopes, M.A. and Martins, R.A. (2021). Mapping the impacts of industry 4.0 on performance measurement systems. *IEEE Latin America Transactions*, 19(11), 1912–1923. doi:10.1109/TLA.2021.9475625.
- Nguyen, Q.D., Dhouib, S., Chanut, J.P., and Bellot, P. (2022). Towards a web-of-things approach for opc ua field device discovery in the industrial iot. In *2022 IEEE 18th International Conference on Factory Communication Systems (WFCS)*, 1–4. doi:10.1109/WFCS53837.2022.9779181.
- Pan, J. and McElhannon, J. (2018). Future edge cloud and edge computing for internet of things applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(1), 439–449. doi:10.1109/JIOT.2017.2767608.
- Pu, C., Ding, X., Wang, P., and Yang, Y. (2022). Practical implementation of an opc ua multi-server aggregation and management architecture for iiot. In *2022 IEEE International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) and IEEE Congress on Cybermatics (Cybermatics)*, 476–481. doi:10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData-Cybermatics55523.2022.00099.
- Torres, P., Dionísio, R., Malhão, S., Neto, L., Ferreira, R., Gouveia, H., and Castro, H. (2019). Cyber-physical production systems supported by intelligent devices (smartboxes) for industrial processes digitalization. In *2019 IEEE 5th International forum on Research and Technology for Society and Industry (RTSI)*, 73–78. doi:10.1109/RTSI.2019.8895553.
- Yuan, H., Hao, H., and Zhang, M. (2021). Overview of opc ua tsn. In *2021 IEEE 5th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, volume 5, 715–718. doi:10.1109/ITNEC52019.2021.9586911.